Über das

Galvanische Verhalten der Kohle

INAUGURAL-DISSERTATION

DER

MATHEMATISCHEN UND NATURWISSENSCHAFTLICHEN FACULTÄT

DER

KAISER-WILHELMS-UNIVERSITÄT STRASSBURG

ZUR ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

VORGELEGT VON

HANICHI MURAOKA

AUS TOTTORI IN JAPAN.

STRASSBURG

BUCHDRUCKEREI VON G. FISCHBACH

1881

9

Über das

Galvanische Verhalten der Kohle

INAUGURAL-DISSERTATION

DER

MATHEMATISCHEN UND NATURWISSENSCHAFTLICHEN FACULTÄT

DER

KAISER-WILHELMS-UNIVERSITÄT STRASSBURG

ZUR ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

VORGELEGT VON

HANICHI MURAOKA

AUS TOTTORI IN JAPAN.

STRASSBURG

BUCHDRUCKEREI VON G. FISCHBACH

1881

Über

das galvanische Verhalten der Kohle.

§ 1. Einleitung.

Das galvanische Verhalten der Kohle ist sowohl in wissenschaftlicher wie in praktischer Hinsicht in letzter Zeit von besonderem Interesse geworden. Schon 1858 hat Matthiessen[1] die Aenderung des galvanischen Leitungswiderstandes der Kohle mit der Temperatur untersucht. Er fand, dass die Kohle bei höherer Temperatur die Elektricität besser leitet, als bei niederer, also sich wie krystallinisches Selen verhält[2], während alle anderen Leiter, die nicht elektrolytisch zersetzt werden, die entgegengesetzte Eigenschaft haben.

Das Resultat von Matthiessen wurde bald darauf von Beetz[3] für einige Kohlensorten bestätigt. Beetz suchte diese merkwürdige Eigenschaft dadurch zu erklären, dass er annahm, die einzelnen Theilchen der Kohle, die ja ein poröser Körper ist, würden durch Erwärmung aneinander gedrückt, wodurch die Leitung der Elektricität befördert wird. Eine Bestätigung seiner Ansicht fand er darin, dass auch andere lockere Körper,

---

[1] Matthiessen, Pogg. Ann. CIII, p. 432. 1858.
[2] Hittorf, Pogg. Ann. LXXXIV, p. 219. 1851.
[3] Beetz, Pogg. Ann. CXI, p. 619. 1860.

wie Eisenfeilicht, Messingspähne durch Erwärmung besser leitend werden, sowie darin, dass eine sehr dichte Pariser Kohle mit steigender Temperatur ihren Widerstand vergrösserte. Im Allgemeinen aber fand auch er, dass der Widerstand der Kohle mit steigender Temperatur abnimmt. Diesen Resultaten von Matthiessen und Beetz entgegen, suchte Auerbach[1] vor Kurzem experimentell zu beweisen, dass die Kohle, wie die Metalle, bei höherer Temperatur weniger gut leitend werde.

So standen die Dinge als ich meine Arbeit anfing und ich stellte mir die Aufgabe, diesen streitigen Punkt eventuell zu entscheiden. Während ich daran arbeitete, erschien eine Abhandlung von Siemens[2] über denselben Gegenstand. Siemens' Resultat war im Wesentlichen dasselbe wie das von Matthiessen erhaltene: der galvanische Leitungswiderstand der Kohle nimmt mit steigender Temperatur ab.

Der Grund der verschiedenen Resultate der einzelnen Beobachter konnte nur in der verschiedenen Art und Weise des Contaktes gefunden werden. Matthiessen verkupferte das Ende der Kohle galvanisch und tauchte die verkupferten Enden in Quecksilber. Gegen diese Art des Contaktes erhob aber Auerbach den Einwand, dass erstens durch die Ausdehnung des Quecksilbers bei höherer Temperatur immer Stücke der Kohle aus dem Stromkreis ausgeschaltet werden, wodurch natürlich der Widerstand verringert werden muss, dass zweitens auch durch das in die Poren der Kohle eindringende Quecksilber die Kohle bei höherer Temperatur besser leitend werde. Auerbach verliess deswegen diese Art des Contaktes und tauchte vielmehr das Kohlenende in Näpfchen mit geschmolzenem Loth, so dass seiner Meinung nach der Contakt auch noch sicher blieb, wenn die Temperatur über den Schmelzpunkt des Lothes stieg. Siemens bewies aber direkt, dass dieser Contakt unsicher ist, weil die Luft, die an der Kohle in so grosser Masse verdichtet ist,

---

[1] Auerbach, Gött. Nachr., p. 269. 1879.
[2] Siemens, Berliner Monatsschr., p. 1. 1880.

bei der Erwärmung den Contakt lockert. Er verkupferte daher das Ende der Kohle galvanisch, wickelte darauf den Zuleitungsdraht um und verkupferte dann noch einmal, so dass der Draht mit der Kupferschicht an der Kohle zu einer einzigen Masse wurde. — Ich war beim Erscheinen der Siemens'schen Arbeit schon im Allgemeinen zu demselben Resultat gelangt, wie Matthiessen und Siemens. Ich habe die Arbeit fortgesetzt, weil ich erstens eine andere Art des Contaktes und der Erwärmung angewendet hatte und das Siemens' sche Resultat für sehr verschiedene Sorten von Kohlen nachweisen konnte und weil ich zweitens auch die Kohlen auf ihr thermoelektrisches Verhalten und ihre sonstige Eigenschaften, welche für das galvanische Leitungsvermögen von Einfluss sein konnte, untersuchen wollte.

I.

Das galvanische Leitungsvermögen der Kohle.

§ 2. Contakte.

Die Hauptaufgabe bei der Bestimmung des Leitungsvermögens der Kohle bei niederer und höherer Temperatur ist die sichere Verbindung der Kohle mit den Zuleitungsdrähten. Ich verkupferte zuerst wie Matthiessen und Siemens die Kohle galvanisch und löthete den Zuleitungsdraht mit Zinn, oder, wenn die Kohle höheren Temperaturen ausgesetzt werden sollte, mit Goldschlagloth oder Silber an, was mir mit einiger Vorsicht gelang. Der Draht haftete dann an der Kohle so fest, dass er ohne zu zerreissen sich nicht von der Kohle trennen liess. Trotz alle dem war dieser Contakt für höhere Temperaturen nicht ausreichend. Eine Kohle nämlich, die diesen Contakt hatte, zeigte zuerst eine ziemlich regelmässige Abnahme des Widerstandes über 300° C. Als aber der Versuch wiederholt wurde, ergaben sich ziemlich abweichende Werthe des Widerstandes und

zwar immer höhere, was ein sicherer Beweis des schlechten Contaktes ist.

Die Ursache davon kann entweder die Luft an der Löthstelle sein (nach Siemens), oder sie kann in der verschieden grossen Ausdehnung des Kupfers und der Kohle liegen. Der ersten Ursache ist diese Erscheinung nicht gut zuzuschreiben, da die Luft schon von der grossen Hitze (Rothglühhitze) beim Hartlöthen ausgetrieben sein muss, und wenn die Luft beim Abkühlen wieder in die Poren der Kohle eingedrungen wäre, so brauchte sie beim Wiedererwärmen nicht den Contakt zu lockern, da sie durch die Poren ausweichen könnte.

Um zu untersuchen, ob die verschiedene Ausdehnung der Kohle und des Kupfers die Hauptursache des gestörten Contaktes ist, bestimmte ich zuerst die Ausdehnungscoefficienten der Kohle mittelst eines von Edelmann[1] construirten Apparates, bei dem die Verlängerung des zu untersuchenden Stabes durch einen Winkelhebel, der auf einen Spiegel wirkt, bestimmt wird. Es ergaben sich folgende Zahlen :

Nummer der Kohle[2]	I	II	IV	V	VI	VII	VIII	X
Ausdehnungscoefficienten . 10^7 für 1° C.	38	15	15	3,2	unmessbar klein	9,5	20,5	30

Wenn auch diese Zahlen nicht sehr genau sind, da die Kohlenstäbe für Untersuchung mit dem Edelmann'schen Apparate nicht hinreichend lang waren, so genügt es doch zu sehen, wie klein die Ausdehnungscoefficienten der Kohle sind, im Verhältniss zu dem Ausdehnungscoefficienten des Kupfers (für dieses ist $\alpha \cdot 10^7 = 175$). Es ist also eine natürliche Folge dieses Unterschiedes, wenn der Contakt bei höherer Temperatur locker wird, wie fest auch das Kupfer bei gewöhnlicher Tem-

---

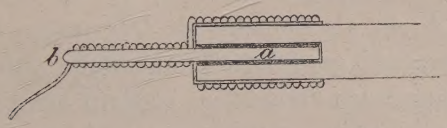
[1] Edelmann, Neuere Apparate für naturw. Schule, p. 124.

[2] Die Kohlen, welche hier mit den Nummern I—X bezeichnet sind, werden weiter unten physikalisch und chemisch näher charakterisirt.

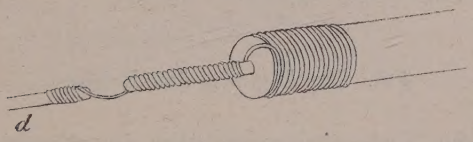
peratur an der Kohle haften mag. — Denselben Einwand musste ich mir auch machen, als ich versuchte nach der Methode von Siemens die Kohle und die Drähte vollständig miteinander zu verkupfern. Ich konnte überhaupt mit dieser Methode keine guten Resultate erhalten, da ich die Drähte mit der Kupferschicht nicht gut verbinden konnte, was Siemens bei seiner Erfahrung und seinen grösseren Mitteln jedenfalls leicht gelungen ist.

Ich habe dann endlich gerade die verschiedene Ausdehnung des Kupfers und der Kohle benutzt, um Contakte zu erhalten, welche bei niederer Temperatur sicher sind und auch bei höherer Temperatur immer sicher bleiben müssen und die mir deshalb allen Anforderungen zu genügen scheinen. Eine Abbildung davon giebt Figur 1 *a* und 1 *b*.

Figur 1a



Figur 1b



Ich bohrte nämlich in die Enden der Kohle axial Löcher *a* (Fig. 1 *a*), von 10 bis 15^{mm} Länge und verkupferte die Enden der Kohle und die Löcher. In diese verkupferten Löcher brachte ich Schlagloth oder auch Silberstückchen hinein und steckte dann einen dicht anschliessenden Kupferstab *b*, den ich im Folgenden immer als Contaktstab bezeichnen will, hinzu, dessen Ende noch aus der Kohle etwa 20^{mm} herausragte. An dieses heraustretende Ende des Contaktstabes sowohl als auch an das verkupferte Ende der Kohle wurden dünne Schlagloth-

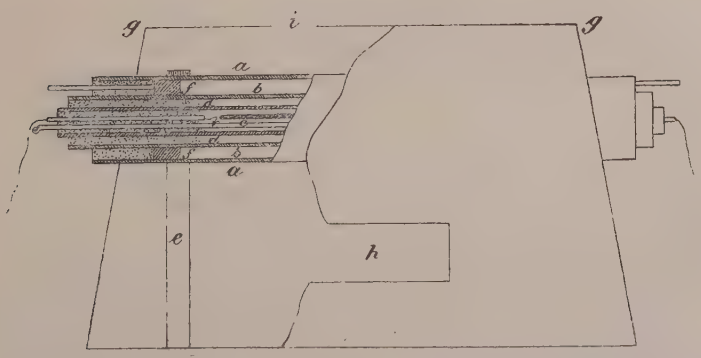
platten gelegt. Darauf wurde der Zuleitungsdraht fest und dicht um die Kohle und den Contaktstab gewickelt (Fig. 1 *b*) und nun unter Benutzung von Borax das Ende der Kohle und der Contaktstab in der Stichflamme erhitzt, bis das Loth schmolz. Dabei wurde der Contaktstab in das Loch der Kohle hineingedrückt, bis er das Ende desselben erreichte. Die Folge davon war, dass der Contaktstab und die inneren Wände des Loches in der Kohle, die ja verkupfert waren, in vollständig metallischem Contakt waren. Dieser Contakt nun, der für niedere Temperaturen ebenso sicher ist, wie der von Siemens, muss bei höheren Temperaturen mindestens ebenso gut bleiben. Denn, da der Kupferstab sich stärker ausdehnt, als die Kohle, so legt er sich bei höherer Temperatur immer fester an die Kohle an und der Contakt wird in Folge dessen niemals gelockert. Dünnere Kohlen bohrte ich nicht axial sondern quer durch, was leichter auszuführen ist, und benutzte den Zuleitungsdraht direkt als Contaktstab. Der um das Kohlenende und den Contaktstab gewickelte Draht wurde nicht direkt mit den Messungsapparaten verbunden, sondern aus Gründen, die ich weiter unten angeben werde, erst noch an einen dicken Kupferstab *d* gelöthet (Fig. 1 *b*). Von diesem aus ging dann die Verbindung zu den Apparaten weiter.

§ 3. Erwärmung der Kohle.

Nach diesen Vorbemerkungen über den Contakt gehe ich dazu über die Art und Weise der Erwärmung der Kohle und der Widerstandsmessung zu beschreiben. Meine ersten Versuche bezweckten nur allgemein zu entscheiden, ob der Widerstand der Kohle mit steigender Temperatur wächst oder fällt. Zu diesem Zwecke brauchte ich die Erwärmung nur von Zimmertemperatur bis 100° C. zu treiben. Um dies auszuführen, wurde die zu bestimmende Kohle mit einem Thermometer in eine Glasröhre hineingesteckt und die beiden Enden mit Watte zugestopft, so dass die Zuleitungsdrähte aus der Röhre heraus-

ragten. Diese Röhre wurde in eine zweite weitere Röhre hineingeschoben und durch Korkpfropfen in ihr festgehalten. Von einem Dampfkessel wurde durch den Zwischenraum der äusseren und inneren Röhre Wasserdampf geleitet. Die Ablesungen begannen erst, nachdem ich sicher war, dass die Kohle durchaus die Temperatur 100° angenommen hatte. Nachdem ich so constatirt hatte, dass der galvanische Widerstand der Kohle bei steigender Temperatur abnimmt, musste ich zur genaueren Bestimmung des Ganges dieser Widerstandsabnahme und zur Ausrechnung des entsprechenden Coefficienten die Erwärmung der Kohle weit höher treiben, bis über 300°. Dazu setzte ich mir einen Heizkasten zusammen, der in Figur 2 abgebildet ist.

Figur 2.



Eine Eisenröhre *a* von 350^{mm} Länge und 40^{mm} Durchmesser, die auf vier Eisenfüssen *e* stand, enthält im Inneren zuerst eine längere und engere Eisenröhre *b* von 450^{mm} Länge und 20^{mm} Durchmesser, die durch zwei verschiebbare Eisenringe *f* in ihr befestigt war. Die innere Röhre *b* diente zur Aufnahme einer Glasröhre *d*, welche die Kohle *c* und ein Thermometer *t* enthielt. Alle Zwischenräume wurden mit Asbest ganz dicht zugestopft. Unter dem ganzen Röhrensystem befanden sich eine Reihe Brenner. Die ganze Vorrichtung wurde mit einer Eisenhülle *g* gedeckt, welche mit Fenstern *h* und *i* versehen war,

um den Luftzug und die Regulirung der Brenner zu gestatten. Die Brenner konnten leicht so regulirt werden, dass das Thermometer 15—20 Minuten lang constant blieb oder höchstens um 5^0 schwankte. Man konnte sicher sein, dass in dieser Zeit die Kohle durchweg die Temperatur angenommen hatte, die das Thermometer zeigte.

§ 4. Methode der Widerstandsmessung.

Die Bestimmung des Widerstandes geschah mittelst der Wheatstone'schen Brücke. In zwei Zweige der Brücke schaltete ich passende und bekannte Widerstände ein, in den dritten Zweig die Kohle und in den vierten einen Dubois'chen Rheostaten. Eine Verschiebung des Schiebers mit Quecksilbercontakt auf diesem Rheostaten entsprach 0,006021 S. E. Das Galvanometer war sehr empfindlich, so dass etwa 3 Millimeter Verschiebung auf dem Rheostaten schon genügten, um die Skala aus dem Gesichtsfeld des Fernrohrs herauszubringen. Bei sehr kleinen Widerständen benutze ich, statt des Dubois'schen Rheostaten, einen gespannten Messingdraht, auf welchem sich ein Schieber befand. Etwaige Ungleichheiten des gespannten Drahtes wurde durch Umschalten des Stromes eliminirt. Da es nicht immer möglich war, die Kohle direkt in den Stromzweig einzuschalten, so nahm ich einen constanten Verbindungsdraht von dem Widerstand 0,0014 S. E., der bei allen Versuchen derselbe blieb. Die Zuleitungsdrähte werden natürlich auch bei der Heizung in ihren Widerstand beeinflusst. Um diese schwer in Rechnung zu ziehende Aenderung möglichst klein zu machen, wurde die am Schlusse des § 2 angegebene und in Figur 1 *b* gezeichnete Vorrichtung getroffen. Ich löthete nämlich an den, um den Contaktstab gewickelten und mit ihm verlötheten Zuleitungsdraht, beinahe direkt an dem Ende des Contaktstabes, sehr dicke Drähte an, deren Widerstand, an sich klein, auch durch die Erwärmung keinen Einfluss auf das Resultat hervorbrachte. Eine directe Verbindung des Contakt-

stabes mit den Messapparaten hätte die Haltbarkeit der Kohle gefährdet. Der Widerstand aller anderen Verbindungsdrähte wurde natürlich direkt bestimmt und in Rechnung gesetzt. Die Ablesungen wurden immer erst angestellt, wenn das Thermometer 15—20 Minuten lang constante Temperatur gezeigt hatte, und zwar manchmal wenn die Temperatur der Kohle stieg, manchmal wenn sie fiel. Nur bei einer Kohle VII wurde nicht constante Temperatur abgewartet, sondern der Rheostat zuerst um eine bestimmte Strecke verschoben und gewartet, bis das Galvanometer den Nullpunkt passirte, in welchem Moment die Temperatur abgelesen wurde. Die Ablesung geschah hierbei bei absteigender Temperatur. Dieses Verfahren gibt nur bei denjenigen Kohlen genaue Ablesungen, welche einen grossen Widerstand haben oder deren Widerstand sich sehr stark ändert und ist selbst bei solchen Kohlen nicht ganz einwurfsfrei, da man einwenden kann, dass die Kohle vielleicht nicht die Temperatur hat, welche das Thermometer zeigt.

§ 5. Bestimmung des specifischen Gewichtes und des Kohlenstoffgehaltes der benutzten Kohlen.

Meine Widerstandsmessungen wurden an sehr verschiedenen Kohlen vorgenommen. Ich bestimmte die Widerstände des reinen Graphites, der natürlichen Gasretortenkohle, von künstlichen Kohlen aus Coaks, aus Gaskohle, aus Holzkohle und endlich von Bleistiften. Um diese Kohlen einigermassen nach ihren sonstigen physikalischen und chemischen Eigenschaften charakterisiren zu können, gebe ich ausser den schon angeführten Messungen des Ausdehnungscoefficienten noch ihr specifisches Gewicht und ihren Procentgehalt an Kohlenstoff an. Herr Prof. Rose hier hatte die Freundlichkeit den letzteren für einige Kohlen bestimmen zu lassen.

Die erhaltenen Zahlen sind in den weiter unten folgenden Tabellen bei den betreffenden Kohlen angegeben.

Um das specifische Gewicht zu bestimmen, überzog ich die

Kohlen mit Wachs, um sie vor dem Eindringen des Wassers zu schützen. Bezeichnet:

G das Gewicht der Kohle in Luft,
G' das Gewicht der Kohle mit Wachs in Luft,
g' das Gewicht der Kohle mit Wachs in Wasser,
V_k das Volumen der Kohle,
V_w das Volumen des Wachses,
S_k das specifische Gewicht der Kohle,
S_w das specifische Gewicht von Wachs,

so ist offenbar

$$V_w = \frac{G' - G}{S_w} = \frac{G' - G}{0.96}$$

worin 0,96 als specifisches Gewicht des Wachses genommen ist. Dieser Werth wird als Volumzunahme der Kohle durch den Wachsüberzug zu gross sein, da ein Theil des Wachses in die Poren der Kohle eindringt.

Um den richtigen Werth zu bekommen, muss also der Nenner etwas grösser gemacht werden. Da nun der Wachsüberzug sehr dünn und diese Correktion überhaupt sehr klein ist, so kann der Einfachheit halber $S_w = 1$ gesetzt werden, dann folgt

$$V_w = G' - G$$
$$V_k + V_w = G' - g' = V_k + G' - G$$

also

$$V_k = G - g'$$

und das specifische Gewicht der Kohle ist darnach:

$$S = \frac{G}{V_k} = \frac{G}{G - g'}$$

d. h. das specifische Gewicht der Kohle lässt sich bestimmen, ohne dass man das absolute Gewicht der mit Wachs überzogenen Kohle kennt. Wird noch Rücksicht auf die Temperatur genommen, so folgt:

$$S_k = \frac{G}{G - g'} \cdot Q$$

worin Q die Dichtigkeit des Wassers bei der betreffenden Temperatur bedeutet. Graphit, der sehr dicht ist, wurde ohne Wachsüberzug in Wasser getaucht. Die Werthe des specifischen Gewichtes sind in den folgenden Tabellen bei den einzelnen Kohlen angegeben.

§ 6. Widerstandsbestimmungen zwischen Zimmertemperatur und 100° C.

Die Contakte wurden hier einfach durch Verkupferung und Verlöthung bewirkt. Die Widerstände sind in der ganzen Arbeit auf S. E. bezogen.

Kohle I.

Sibirischer Graphit aus dem Berliner Museum.

Durch Vermittelung des Herrn Prof. Groth hier erhielt ich von Herrn Prof. Websky aus dem Berliner Museum ein grosses Stück sehr homogenen sibirischen Graphits, mit der Erlaubniss einen Theil desselben benutzen zu können. Ich liess ihn mittelst einer Kreissäge in viereckige Stangen sägen, welche noch abgeschliffen werden mussten, um glatte Oberfläche und symmetrische Form zu bekommen.

Länge	118,7^{mm}
Querschnitt	8,235^{qmm}
Specifisches Gewicht	1,8
Procentgehalt an Kohlenstoff	98,0
Ausdehnungscoefficient	0,0000038

	Temperatur.	Widerstand.	Temperatur.	Widerstand.
	27	0,1652	100	0,1555
	22	0,1668	100	0,1555
	29	0,1645	100	0,1556
Mittel:	26	0,1655	100	0,1555

Temperatur-Differenz.	Widerstands-Differenz.	Temperatur-Coefficient.[1]	Specifischer Widerstand für 0° C.
74	— 0,0100	— 0,00082	11,75

Kohle II.

Pariser Gaskohle (Elementenkohle).

Länge 151.0mm
Querschnitt 31,9qmm
Specifisches Gewicht 1,8
Ausdehnungscoefficient 0,0000015

	Temperatur.	Widerstand.	Temperatur.	Widerstand.
	18,7	0,2450	100	0,2397
	16.8	0,2465	100	0,2413
	17,1	0,2461	100	0,2401
Mittel:	17,5	0.2459	100	0,2399

Temperatur-Differenz.	Widerstands-Differenz.	Temperatur-Coefficient.	Specifischer Widerstand für 0° C.
82,5	— 0,0060	— 0,00030	52,23

Kohle III.

Künstliche Kohle, wie sie für elektrisches Licht benutzt wird.

Länge 213,0mm
Querschnitt 28,31qmm

	Temperatur.	Widerstand.	Temperatur.	Widerstand.
	15,5	0,3570	100	0,3479
	14,9	0,3576	100	0,3479
	16,8	0,3618	100	0,3479
	17,3	0,3624	100	0,3479
	17,5	0,3624	100	0,3479
	18,0	0,3606	100	0,3481
	18,9	0,3600	100	0,3491
Mittel:	17,0	0,3602	100	0,3481

[1] Ist W_t der absolute Widerstand bei der Zimmertemperatur t und W_{100} der bei 100° C., so ist mit Annahme der linaren Aenderung des Widerstandes mit der Temperatur, der Temperatur-Coefficient α des Widerstandes:

$$\alpha = \frac{W_{100} - W_t}{W_t\,(100 - t)}$$

Temperatur-Differenz.	Widerstands-Differenz.	Temperatur-Coefficient.	Specifischer Widerstand für 0° C.
83,0	— 0,0121	— 0,000405	48,44

Kohle IV.

Eine zweite künstliche Kohle für elektrisches Licht.

Länge	214,0mm
Querschnitt	17,60qmm
Specifisches Gewicht	2,37
Ausdehnungscoefficient	0,0000015

	Temperatur.	Widerstand.	Temperatur.	Widerstand.
	17,0	0,5154	100	0,5081
	14,5	0,5190	100	0,5057
	16,0	0,5184	100	0,5057
	14.6	0,5172	100	0,5057
Mittel:	15,5	0,5175	100	0,5063

Temperatur-Differenz.	Widerstands-Differenz.	Temperatur-Coefficient.	Specifischer Widerstand für 0° C.
84,5	— 0,0112	— 0,00025	42,64

Kohle V.

Künstliche Kohle von Coaks für elektrisches Licht, bezogen von der Maschinenfabrik Heilmann & Cie in Mülhausen i. E.

Länge	222,0mm
Querschnitt	62,0qmm
Specifisches Gewicht	1,90
Procentgehalt an Kohlenstoff	98,1
Ausdehnungscoefficient	0,00000032

	Temperatur.	Widerstand.	Temperatur.	Widerstand.
	22,3	0,1390	100	0,1365
	27,0	0,1390	100	0,1365
	21,3	0,1390	100	0,1365
Mittel:	23,5	0,1390	100	0,1365

Temperatur-Differenz.	Widerstands-Differenz.	Temperatur-Coefficient.	Specifischer Widerstand für 0° C.
76,5	— 0,0025	— 0,000235	38,15

Kohle VI.

Bleistift N° 3 H von A. W. Faber (ausgeglüht).

Länge	87,0mm
Querschnitt.	2,545qmm
Specifisches Gewicht	1,30
Procentgehalt an Kohlenstoff	59,7
Ausdehnungscoefficient	Unmessbar klein.

Beobachtung.	Temperatur.	Widerstand.	Temperatur.	Widerstand
I	16,0	7,564	100	7,207
XI	12,8	8,313	100	7,732

Temperatur-Differenz.	Widerstands-Differenz.	Temperatur-Coefficient.	Specifischer Widerstand für 0° C.
84,0	— 0,357	— 0,00056	223,4
87,2	— 0,581	— 0,00080	245,8

Die Beobachtung, die ich bei dieser Kohle machte, war eine sehr merkwürdige. Der Widerstand wuchs nach jedesmaligem Heizen. Ich brachte die Kohle 11 mal von Zimmertemperatur auf 100° und fand jedesmal einen grösseren Werth des specifischen Widerstandes. Die auf 0° bezogenen Zahlen sind folgende:

Nummer der Beobachtung.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Zeit der Heizung in Minuten . . .	55	60	100	30	60	15	70	100	100	50	100
Specifischer Widerstand	223,4	225,3	228,0	228,0	230,5	231,0	234,0	236,0	238,0	240,0	245,8

Während also der specifische Widerstand nach der ersten Beobachtung 223,4 war, wurde er nach der elften Beobachtung (nach 12stündigem Heizen) 245,8. Es ist unwahrscheinlich, dass es in den fremden Beimengungen, die allmählig aus der Kohle sich verflüchtigten, liegt, da die Kohle schon ausgeglüht war. Durch das lange Heizen wollte ich sehen, ob der Widerstand constant wird, was ganz gut möglich wäre, wenn die Beimischungen diese Aenderungen verursacht hätten. Wenn

man bedenkt, dass der Ausdehnungscoefficient gerade dieser Kohle so klein ist, dass er mittelst der angewendeten Methode nicht messbar ist, so rührt diese Aenderung höchst wahrscheinlich von Contaktlockerung her, welche, wie schon in § 2 erwähnt, bei anderen Kohlen erst bei höheren Temperaturen eintritt.

Kohle VII.

Bleistift von M. Faber.

Länge	136,0mm
Querschnitt	11,56qmm
Specifisches Gewicht	2,36
Procentgehalt an Kohlenstoff	52,0
Ausdehnungscoefficient	0,00000095

Wegen der Messungsmethode vergl. § 4.

Widerstand.	Temperatur.	Widerstands-Differenz.	Temperatur-Differenz.	Temperatur-Coefficient.
11,32	22			
11,22	28	— 0,10	6	— 0,00147
11,10	42	— 0,22	20	— 0,00097
10,98	60	— 0,34	38	— 0,00079
10,86	74	— 0,46	52	— 0,00078
10,74	88	— 0,58	66	— 0,00078
10,65	100	— 0,67	78	— 0,00076

Mittlerer Coefficient	— 0,00092
Specifischer Widerstand	996,9

Kohle VIII.

Künstliche Kohle N° 57, bezogen von Kaiser & Schmidt in Berlin.

Länge	223mm
Querschnitt	12,57qmm
Specifisches Gewicht	1,63
Procentgehalt an Kohlenstoff	98,0
Ausdehnungscoefficient	0,00000205

	Temperatur.	Widerstand.	Temperatur.	Widerstand.
	13,9	0,6515	100	0,6376
	12,9	0,6521	100	0,6382
	14,8	0,6515	100	0,6388
	15,7	0,6515	100	0,6388
Mittel:	14,3	0,6516	100	0,6384

Temperatur-Differenz.	Widerstands-Differenz.	Temperatur-Coefficient.	Specifischer Widerstand für 0° C.
85,7	— 0,0132	— 0,00024	36,86

Kohle IX.

Eine zweite künstliche Kohle N° 57, bezogen von Kaiser & Schmidt in Berlin.

Länge 94mm

Querschnitt. 3,142qmm

	Temperatur.	Widerstand.	Temperatur.	Widerstand.
	13,0	1,205	100	1,186
	13,7	1,212	100	1,185
	11,0	1,231	100	1,185
	11,9	1,231	100	1,184
	9,0	1,232	100	1,189
Mittel:	11,7	1,224	100	1,186

Temperatur. Differenz.	Widerstands-Differenz.	Temperatur-Coefficient.	Specifischer Widerstand für 0° C.
88,3	— 0,038	— 0.00037	41,17

Diese beiden Sorten künstlicher Kohle (VIII und IX) sind von der Fabrik gleich numerirt, haben aber nicht ganz gleiche specifische Widerstände, was wahrscheinlich davon herrührt, dass die Menge des Bindmittels dieser ungleich dicken Kohlen nicht ganz gleich ist und ausserdem die Kohlen nicht gleich stark gepresst sind. Für jede dieser beiden Kohlen führte ich noch eine andere Bestimmung aus. Ich glühte sie nämlich aus, beseitigte also den leicht brennbaren Theil des Bindmittels und bestimmte noch einmal die Widerstände und ihre Aenderungen. Es liess sich aber nicht erkennen, welchen Einfluss das Ausglühen ausübt. Der specifische Widerstand nahm durch das Ausglühen bei der einen Kohle zu und bei der anderen ein wenig ab, der Temperaturcoefficient nahm bei beiden ganz wenig ab.

Das Resultat aller dieser Beobachtungen bei der Erwärmung bis 100° C. ist, dass bei allen untersuchten Kohlen der Widerstand mit steigender Temperatur abnimmt und zwar nicht bei

allen um gleichviel. Die Coefficienten der Abnahme der Widerstände zwischen Zimmertemperatur und 100° C. sind in folgender Zusammenstellung enthalten:

Nummer der Kohle.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Temperaturcoefficienten .	— 0,00082	— 0,00030	— 0,000405	— 0,00025	— 0,000235	— 0,00056	— 0,00092	— 0,00024	— 0,00037

§ 7. Widerstandsbestimmungen bei höherer Temperatur.

Die Contakte wurden alle durch Bohrung und Verlöthung gemacht (s. § 2 Mitte). Wegen der Schwierigkeit der Durchbohrung der Kohle musste bei den Kohlen I und IV andere Stücke von grösseren Querschnitten genommen werden, als bei vorhergehenden Bestimmungen. Wie schon am Ende von § 3 erwähnt, war es möglich die Temperatur sehr lange constant zu halten, aber doch schwierig bei der Wiederholung des Versuches diese Constanz bei derselben Temperatur wieder herzustellen, wie bei dem vorhergehenden Versuche. Es musste daher das Mittel der Beobachtungen aus den naheliegenden Temperaturen und den entsprechenden Widerständen genommen werden.

Die specifischen Widerstände berechnete ich aus den beobachteten Widerständen und den mittleren Temperatur-Coefficienten, indem ich die Widerstandsänderungen als lineare Funktion der Temperatur annahm (vergl. § 9).

Kohle I[1].

Länge 220mm
Querschnitt 33,57qmm

Temperatur.	Widerstand.	Temperatur-Differenz.	Widerstands-Differenz.	Temperatur-Coefficient.
25	0,07852			
185	0,06963	160	— 0,00889	— 0,00071
244	0,06675	219	— 0,01177	— 0,00068
302	0,06453	277	— 0,01399	— 0,00064

[1] Die Sorte der Kohle und ihre Charakterisirungen sind schon bei den Bestimmungen bis 100° C. angegeben.

Temperatur.	Widerstand.	Temperatur-Differenz.	Widerstands-Differenz.	Temperatur-Coefficient.
26	0,07845			
201	0,06898	175	— 0,00947	— 0,00069
258	0,06627	232	— 0,01218	— 0,00067
298	0,06445	272	— 0,01400	— 0,00066
28	0,07842			
195	0,06930	167	— 0,00912	— 0,00076
250	0,06641	222	— 0,01201	— 0,00069
307	0,06474	279	— 0,01368	— 0,00063

Mittel aus den Beobachtungen:

Temperatur.	Widerstand.	Temperatur-Coefficient.
26	0,07846	
194	0,06930	— 0,00070
251	0,06648	— 0,00068
302	0,06457	— 0,00064

Mittlerer Coefficient . . . . . — 0.00067
Specifischer Widerstand für 0^0 C. 12,35

Kohle IV.

Länge. 212mm
Querschnitt 39,50qmm

Temperatur.	Widerstand.	Temperatur-Differenz.	Widerstands-Differenz.	Temperatur-Coefficient.
27	0,2292			
150	0,2193	123	— 0,0099	— 0,00035
210	0,2170	183	— 0,0122	— 0,00029
330	0,2112	303	— 0,0180	— 0,00026
26	0,2270			
165	0,2188	139	— 0,0082	— 0,00027
210	0,2167	184	— 0,0103	— 0,00025
338	0,2114	312	— 0,0156	— 0,00022
25	0,2269			
180	0,2177	155	— 0,0092	— 0,00026
220	0,2161	195	— 0,0108	— 0,00024
338	0,2117	313	— 0,0122	— 0,00017

Mittel aus den Beobachtungen :

Temperatur.	Widerstand.	Temperatur-Coefficient.
26	0,2277	
165	0,2186	— 0,00029
213	0,2169	— 0,00026
335	0,2114	— 0,00022

Mittlerer Coefficient . . . . . — 0,00026
Specifischer Widerstand für 0° C. 43,15

Kohle V.

Länge. 222mm
Querschnitt 62,00qmm

Temperatur.	Widerstand.	Temperatur-Differenz.	Widerstands-Differenz.	Temperatur-Coefficient.
26	0,1393			
162	0,1350	146	— 0,0043	— 0,00021
240	0,1332	224	— 0,0061	— 0,00020
340	0,1317	324	— 0,0076	— 0,00017
25	0,1397			
168	0,1352	143	— 0,0045	— 0,00023
230	0,1340	205	— 0,0057	— 0,00020
330	0,1321	305	— 0,0076	— 0,00018
33	0,1393			
154	0,1357	121	— 0,0036	— 0,00021
239	0,1336	206	— 0,0057	— 0,00020
344	0,1318	311	— 0,0075	— 0,00017

Mittel aus den Beobachtungen :

Temperatur.	Widerstand.	Temperatur-Coefficient.
28	0,1394	
165	0,1353	— 0,00022
240	0,1339	— 0,00019
338	0,1319	— 0,00017

Mittlerer Coefficient. . . . . — 0,00020
Specifischer Widerstand für 0° C. 39,36

Kohle X.

Künstliche Kohle aus Holzkohle, bezogen von Goudoin.

Länge	190mm
Querschnitt	123,7qmm
Specifischer Widerstand	1,55
Procentgehalt an Kohlenstoff	97,6
Ausdehnungscoefficient	0,0000030

Temperatur.	Widerstand.	Temperatur-Differenz.	Widerstands-Differenz.	Temperatur-Coefficient.
27	0,0838			
160	0,0800	133	— 0,0038	— 0,00042
210	0,0787	183	— 0,0051	— 0,00033
310	0,0766	283	— 0,0072	— 0,00030
40	0,0834			
169	0,0796	129	— 0,0038	— 0,00037
232	0,0785	192	— 0,0049	— 0,00031
315	0,0767	275	— 0,0067	— 0,00027
27	0,0836			
179	0,0795	152	— 0,0041	— 0,00034
245	0,0781	218	— 0,0055	— 0,00030
342	0,0763	315	— 0,0073	— 0,00028

Mittel aus den Bobachtungen:

Temperatur.	Widerstand.	Temperatur-Coefficient.
31	0,0836	
169	0,0797	— 0,00038
229	0,0784	— 0,00031
322	0,0765	— 0,00028

Mittlerer Coefficient	— 0,00032
Specifischer Widerstand für 0° C.	55,73

Kohle VII.

Bei dieser Kohle wurde nicht auf constante Temperatur abgewartet, vergl. Ende § 4.

Länge	136mm
Querschnitt	11,56qmm

Widerstand.	Temperatur-Beobachtungen.				
	I	II	III	IV	V
10,496	105	110	130	126	130
10,376	126	129	145	145	150
10,254	146	150	168	165	165
10,139	169	172	195	190	188
10,012	200	190	224	220	215
9,891	230	218	244	245	240
9,770	262	245	265	270	265
9,649	297	268	288	292	292

Mittel der Temperatur.	Differenz des Widerstandes.	Differenz der Temperatur.	Temperatur Coefficient.
120			
139	— 0,120	19	— 0,00061
159	— 0,242	39	— 0,00059
182	— 0,357	62	— 0,00055
210	— 0,484	90	— 0,00051
235	— 0,605	115	— 0,00050
261	— 0,726	141	— 0,00049
287	— 0,847	167	— 0,00048

Mittlerer Coefficient . . . . . — 0,00053
Specifischer Widerstand für 0° C. 967,3

Die Discussion dieser Beobachtungen und der sich daraus ergebenden Werthe der Widerstände und Coefficienten werde ich vornehmen, nachdem ich die Beobachtungen über das thermoelektrische Verhalten der Kohle angeführt haben werde.

II.

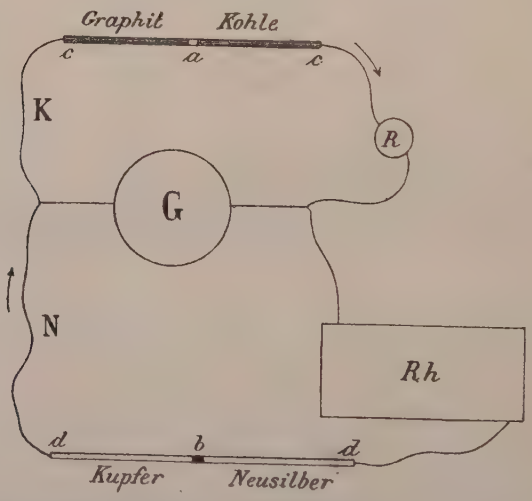
Thermoelektrisches Verhalten verschiedener Kohlen gegen einander.

§ 8.

Während der in dem bisherigen Theil der Arbeit beschriebenen Untersuchungen der Widerstände der Kohlen, bemerkte

ich, dass die Thermoströme zwischen den Kohlen und den Zuleitungsdrähten sowohl als auch zwischen zwei verschiedenen Kohlen nicht unbedeutend sind. Da dieses thermoelektrische Verhalten erstens die Kohle charakterisirt und da zweitens zu vermuthen war, dass die thermoelektromotorische Kraft in Zusammenhang mit dem Leitungswiderstand oder vielleicht mit der Aenderung desselben stehe, so untersuchte ich die Ströme zwischen dem oben genannten sibirischen Graphit (Kohle I) und den verschiedenen Kohlen, indem ich die Ströme mit einem Kupfer-Neusilberelement verglich, welches letztere seinerseits mit einem Daniel'schen Element verglichen wurde. Die Messungsmethode war die Poggendorff'sche [1]. In dem Stromkreis K (Fig. 3)

Figur 3.



des zu messenden Elementes, schaltete ich Drahtrollen R von bekannten Widerständen mit Quecksilbercontakt ein, während in dem Kreise N des Normalelementes (Kupfer-Neusilber) ein Siemens'scher Widerstandskasten Rh. sich befand, von

[1] Poggendorff, Pogg. Ann., Bd 54, p. 161. 1841.

welchem ich nur Stöpsel benutzte, da der Schiebercontakt für diesen Zweck wohl nicht sicher genug ist. Die Widerstände unter einer S. E. konnten aus den Ablenkungen der Galvanometernadel interpolirt werden. Die Löthstelle *a* und *b* der beiden Elemente wurde auf 100° und die Enden *cc* und *dd* auf 0° gehalten.

Steht das Galvanometer auf Null für

$$R = r'_k , r''_k \ldots . r^p_k , r^q_k \ldots$$
$$Rh = r'_n , r''_n \ldots . r^p_n , r^q_n \ldots$$

so ist

$$Ek = \frac{r''_k - r'_k}{r''_n - r'_n} = \frac{r'''_k - r''_k}{r'''_n - r''_n} = \ldots = \frac{r^p_k - r^q_k}{r^p_n - r^q_n} \ldots$$

wenn Ek die elektromotorische Kraft des Graphit-Kohlenelementes bezeichnet und wenn die elektromotorische Kraft des Normalelementes gleich 1 angenommen wird. Es ergaben sich folgende Werthe:

Graphit gegen Kohle II.

Nummer der Beobachtung.	I	II	III
r_k	0,506	1,000	1,506
r_n	65,4	131,0	199,0

Combination.	$r^p_k - r^q_k$	$r^p_n - r^q_n$	Ek
I,II	0,496	65,6	0,00752
I,III	1,000	133,6	0,00748
II,III	0,506	68,0	0,00744

Mittel: Graphit-Kohle II = —0,00748

Graphit gegen Kohle IV.

Nummer der Beobachtung.	I	II	III	IV	V
r_k	0,506	1,000	1,506	1,986	2,986
r_n	47,0	74,0	105,0	132,0	192,0

Combination.	$r_k^p - r_k^q$	$r_n^p - r_n^q$	E_k
I,II	0,494	27,0	0,01829
I,III	1,000	58,0	0,01724
I,IV	1,480	85,0	0,01729
I,V	2,480	145,0	0,01710
II,III	0,506	31,0	0,01632
II,IV	0,986	58,0	0,01700
II,V	1,986	118,0	0,01683
III,IV	0,408	27,0	0,01778
III,V	1,480	87,0	0,01701
IV,V	1,000	60,0	0,01667

Mittel : Graphit-Kohle IV = −0,0171

Graphit gegen Kohle V.

Nummer der Beobachtung.	I	II	III
r_k	0,506	1,000	1,986
r_n	35,0	61,0	113,0

Combination.	$r_k^p - r_k^q$	$r_n^p - r_n^q$	E_k
I,II	0,494	26,0	0,01900
I,III	1,480	78,0	0,01897
II,III	0,986	52,0	0,01896

Mittel : Graphit-Kohle V = − 0,0190

Graphit gegen Kohle VII.

Nummer der Beobachtung.	I	II	III	IV	V
r_k	1,000	2,986	3,962	10,08	45,61
r_n	22,0	27,0	30,0	49,5	157,0

Combination.	$r_k^p - r_k^q$	$r_n^p - r_n^q$	E_k
I,II	1,986	5,0	0,3972
I,III	2,962	8,0	0,3703
I,IV	9,080	27,5	0,3302
I,V	44,610	135,0	0,3304
II,III	0,976	3,0	0,3254
II,IV	7,094	22,5	0,3153
II,V	42,624	130,0	0,3204
III,IV	6,118	19,5	0,3137
III,V	41,650	127,0	0,3280
IV,V	35,530	107,0	0,3321

Mittel : Graphit-Kohle VII = − 0,336

Graphit gegen Kohle VIII.

Nummer der Beobachtung.	I	II	III	IV	V
r_k	0,506	1,000	1,506	1,986	2,986
r_n	28,0	41,0	55,0	67,0	95,0

Combination.	$r_k^p - r_k^q$	$r_n^p - r_n^q$	E_k
I,II	0,494	13,0	0,03800
I,III	1,000	27,0	0,03704
I,IV	1,480	39,0	0,03795
I,V	2,480	67,0	0,03701
II,III	0,506	14,0	0,03614
II,IV	0,986	26,0	0,03792
II,V	1,986	54,0	0,03678
III,IV	0,480	12,0	0,04000
III,V	1,480	40,0	0,03700
IV,V	1,000	28,0	0,03572

Mittel : Graphit-Kohle VIII = — 0,0374

Graphit gegen Kohle X.

Nummer der Beobachtung.	I	II	III	IV
r_k	1,000	1,506	1,986	2,986
r_n	20,0	29,9	39,0	59,0

Combination.	$r_k^p - r_k^q$	$r_n^p - r_n^q$	E_k
I,II	0,506	9,9	0,05111
I,III	0,986	19,0	0,05190
I,IV	1,986	39,0	0,05093
II,III	0,480	9,1	0;05275
II,IV	1,480	29,1	0,05086
III,IV	1,000	20,0	0,05000

Mittel : Graphit-Kohle X = — 0,0513

Bei dem folgenden Element (Graphit-Kohle VI) war der Widerstand der Kohle allein so gross, dass bei ihrer elektromotorischen Kraft der Ausschlag des Spiegels sehr klein wurde. Ich konnte nicht noch einen neuen Widerstand einschalten, sondern musste die elektromotorische Kraft aus dem Gesammt-

widerstande in K ($W_k = 2{,}057$) und in N ($W_n = 46{,}663$) berechnen. Es ergab sich dann

Graphit-Kohle VI = — 0,0190.

Zur Vergleichung des Normalelementes mit einem Daniel'schen Elemente bediente ich mich ebenfalls der Poggendorff'schen Methode. Die Anordnung war dieselbe wie vorher, nur musste im Zweige des Daniel'schen Elementes ausser dem Siemens'schen Widerstandskasten mit 10000 S. E. noch ein grosser Widerstand eingeschaltet werden, damit die Beobachtung überhaupt möglich war. Diesen Widerstand brauchte ich natürlich nicht zu kennen. Als Flüssigkeit für das Daniel'sche Element nahm ich concentrirte Kupfervitriollösung und verdünnte Schwefelsäure (1/8).

Kupfer-Neusilber-Element.

Nummer der Beobachtung.	I	II	III	IV
r_n	2,986	3,962	4,962	10,080
r_d [1]	1129,0	1913,0	2723,0	6870,0

Combination.	$r_n^p - r_n^q$	$r_d^p - r_d^q$	E_n
I,II	0,976	784,0	0,001245
I,III	1,976	1594,0	0,001240
I,IV	7,094	5741,0	0,001236
II,III	1,000	810,0	0,001235
II,IV	6,118	4957,0	0,001234
III,IV	5,118	4147,0	0,001234

Mittel : Kupfer-Neusilber = + 0,00124 D.

Bequerell [2] fand für Kupfer- Neusilberelement den Werth :

E = 0.001260 Daniel,

ein Werth, welcher mit der obigen Zahl genügend übereinstimmt.

---

[1] r_d ist der in den Kreis des Daniel'schen Elementes eingeschaltete Widerstand.

[2] Bequerell, Ann. de chim. et de phys., VIII, p. 415. 1864.

Setzt man nun ein Daniel gleich der Einheit, so ist das Resultat meiner Messung Folgendes:

Elektromotorische Kraft E der Thermoströme zwischen Kohlen und Graphit im Verhältniss zu der elektromotorischen Kraft eines Daniels:

Nummer der Kohle.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	X
$E \cdot 10^7$	± 0	92,6		213	235	546	4230	464	635

Die einzelnen Beobachtungen der Thermoströme der Kohlen stimmen nicht so gut überein wie die bei der Vergleichung des Normalelementes mit dem Daniel. Das kann in der Ungenauigkeit der Interpolation liegen, möglicherweise aber auch darin, dass ein Kohlenelement nicht so constant ist wie ein Metallelement.

§ 9. Discussion der Resultate.

Fassen wir jetzt die Resultate zusammen, indem wir die Kohle nach der Grösse des specifischen Widerstandes ordnen:

Nummer der Kohle.	Bestimmungen zwischen Zimmertemperatur und 100° C.		Bestimmungen bei höheren Temperaturen.		Specifisches Gewicht.	Procentgehalt an Kohlenstoff.	Thermoelektromotorische Kraft der Kohle gegen Graphit für Daniel = 1.	Ausdehnungs-Coefficient.
	Specifischer Widerstand bezogen auf 0° C	Temperatur-Coefficient des Widerstandes.	Specifischer Widerstand bezogen auf 0° C.	Temperatur-Coefficient des Widerstandes.				
VII	996,9	— 0,00092	967,3	— 0,00053	,33	52,0	$+4230 \cdot 10^{-7}$	$9,5 \cdot 10^{-7}$
VI	223,4	— 0,00056	—	—	1,30	59,7	$+ 546 \cdot 10^{-7}$	unmessbar klein
X	—	—	55,73	— 0,00032	1,55	97,6	$+ 635 \cdot 10^{-7}$	$30 \cdot 10^{-7}$
II	52,23	— 0,00030	—	—	1,80	—	$+92,6 \cdot 10^{-7}$	$15 \cdot 10^{-7}$
III	48,44	— 0,000405	—	—	—	—	—	—
IV	42,64	— 0,00025	43,15	— 0,00026	2,37	—	$+ 213 \cdot 10^{-7}$	$15 \cdot 10^{-7}$
IX	41,17	— 0,00037	—	—	—	—	—	—
V	38,15	— 0,000235	39,36	— 0,00020	1,90	98,1	$+ 235 \cdot 10^{-7}$	$3,2 \cdot 10^{-7}$
VIII	36,86	— 0,00024	—	—	1,63	98,0	$+ 464 \cdot 10^{-7}$	$20,5 \cdot 10^{-7}$
I	11,75	— 0,00082	12,35	— 0,00067	1,80	98,0	$\pm$ 0,0000	$38 \cdot 10^{-7}$

In erster Linie sehen wir aus der vorstehenden Tabelle, dass die Temperaturcoefficienten der Widerstände, bei höheren Temperaturen immer kleiner gefunden sind (Kohle IV ausgenommen), als bei niedrigen, dass also streng genommen nicht die lineare Formel

$$W_t = W_o (1 + \alpha t),$$

sondern

$$W_t = W_o (1 + \alpha t + \beta t^2 . . . .)$$

gilt. Ferner weichen die specifischen Widerstände, welche aus den beiden unabhängigen Bestimmungen nach der linearen Formel berechnet sind,

für Kohlen	I	IV	V	VII	
um	5	1,2	3,2	3	Procent

ab, eine Differenz, die theils von Beobachtungsfehlern, theils aber davon herrührt, dass die Abnahme des Widerstandes keine lineare Funktion der Temperatur ist. Ich führte noch die Berechnung von den Coefficienten α und β für diese vier Kohlen und für die Kohle X aus je 3 Beobachtungen aus. Es ergaben sich dann:

Nummer der Kohle.	Specifischer Widerstand.	Temperatur-Coefficient α	Temperatur-Coefficient β
VII	952,0	— 0,000588	+ 0,00000434
X	55,15	— 0,000415	+ 0,00000257
IV	42,90	— 0,000425	+ 0,00000715
V	39,10	— 0,000156	+ 0,00000524
I	12,20	— 0,000739	+ 0,00000273

In der folgenden Tabelle setze ich meine Resultate über den specifischen Widerstand der Kohle zusammen mit den von früheren Beobachtern gefundenen. Die Werthe sind nicht ganz vergleichbar, da meine Zahlen den specifischen Widerstand auf 0° bezogenen angeben, während dies bei den Zahlen der andern Beobachter nicht der Fall ist.

Name der Kohle.	Matthiessen	Schrader[1].	Auerbach.	Siemens.	Muraoka.
Graphit	23—413	—	—	—	12
Gaskohle	42	60—115	63—77	73	52
Künstliche Kohle. . .	564	—	—	48	37—56
Bleistift	?	—	—	—	223—1000

Man ersieht an dieser Zusammenstellung wie ungleich die specifischen Widerstände nach den verschiedenen Sorten der Kohlen sind. Vermuthlich hängen die Verschiedenheiten der Resultate, ausser von den Uebergangswiderständen beim benutzten Contakt, noch von dem Gehalt an Kohlenstoff, von Beimischungen und von anderen Eigenschaften ab. Dass der Gehalt an Kohlenstoff eine grosse Rolle spielt, sehen wir ganz deutlich an den Zahlen der Kohlen VI und VII. Die übrigen angegebenen physikalischen Eigenschaften lassen keine regelmässigen Beziehungen zum Widerstand erkennen. Es lässt sich ja auch von vornherein vermuthen, dass die specifischen Widerstände oder deren Aenderungen nicht in einer einfachen Beziehung zu den anderen physikalischen Eigenschaften stehen, sondern dass sie eine sehr complicirte Funktion dieser Eigenschaften sind, weshalb Schrader[1] auch keine Beziehung zwischen den Widerständen und den specifischen Gewichten fand. — Unter den verschiedenen Kohlen ist der Graphit am charakteristischsten; er hat den kleinsten galvanischen Widerstand, die grösste Aenderung des Widerstandes mit der Temperatur, den grössten Ausdehnungscoefficient, und er ist elektronegativ gegen allen andern Kohlen, er scheint ausserdem der beste Wärmeleiter unter allen Kohlen zu sein, was ich aber leider nicht quantitativ bestimmen konnte. Der Graphit zeichnet sich aber nicht durch den Procentgehalt an Kohlenstoff und durch das specifische Gewicht vor den anderen Kohlen aus, trotzdem

[1] Schrader, Gött. Nachr., p. 325. 1875.

er dem Augenschein nach weniger porös ist wie die übrigen Kohlen. — Ferner ist es zu vermuthen, dass einige Kohlen, die Matthiessen für Graphit hielte, nicht reiner Graphit waren, da es doch ziemlich unwahrscheinlich ist, dass die specifischen Widerstände von reinem Graphit von 20 bis 400 schwanken (der Graphit von Matthiessen war kein natürlicher, sondern er war geformt aus Materialien, die für Bleistift bestimmt sind).

Was nun unsere Hauptfrage, die Aenderung des Widerstandes mit der Temperatur anbetrifft, so ist festgestellt, dass der Widerstand bei höherer Temperatur abnimmt und zwar bei allen untersuchten Sorten der Kohlen.

Endlich ist noch zu erwähnen, dass natürliche Holzkohlen und Steinkohlen, ich untersuchte, mit dem von mir benutzten Galvanometer keine Leitung erkennen liessen.

Lebenslauf.

Ich, Hanichi Muraoka, Sohn eines Samurai's, bin geboren am 14. Oktober 1853, in Tottori in Japan. Vom Jahre 1859 bis 1870 studirte ich auf der Schule Sogakusi in Tottori japanische und chinesische Literatur und hauptsächlich die Lehre von Kohshi (Confucius). Dann studirte ich in Daigaku-Nanko (Süd-Universität) in Tokio zuerst die deutsche Sprache und in dieser Sprache diejenigen Fächer, die den Unterrichtsfächern der hiesigen Realschulen und theilweise den der polytechnischen Schulen entsprechend sind, namentlich Mathematik, Physik, Chemie, machte meteorologische Beobachtungen und übte mich im Zeichnen der Maschinentheile und praktisch in der Feldmesskunst. Anfang 1878 wurde ich von der japanischen Regierung nach Deutschland geschickt, um meine Studien hier weiter fortzusetzen. Im Sommer-Semester 1878 liess ich mich in der mathematisch naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Strassburg i/E. einschreiben.

Von dieser Zeit an bis jetzt hörte ich die Vorlesungen der Herrn Professoren : Kundt, Fittig, Christoffel, Reye, Netto, Roth, Braun, Götte, Wroblewski.

Ausserdem arbeitete ich im physikalischen Laboratorium unter Leitung des Herrn Prof. Kundt fünf Semester lang. Allen den genannten Herren, insbesondere Herrn Prof. Kundt, spreche ich an dieser Stelle meinen herzlichsten Dank aus.